

## الباب السادس

### تأثير الإجهاد الجفافى على نمو ومحصول حاصلات الحقل

يتأثر نمو ومحصول حاصلات الحقل المختلفة بالتعرض لإجهاد الجفاف حيث تلعب عملية إضافة الماء بواسطة الري دوراً هاماً فى نمو وإنتاج الحاصلات الزراعية على المستوى العالمى إذ يساهم ماء الري بنسبة ٤٠% من إنتاج الطعام والسلع الزراعية المنتجة من ١٧% من الأراضى الزراعية. وقد تضاعف الإنتاج فى العقود الماضية الحديثة بتزايد مساهمة مياه الري فى النمو والإنتاجية مقارنة بالخمسين عاماً الماضية. ويتم سحب ٧٠% من مياه الأنهار الموجودة على سطح الكرة الأرضية لاستعمالها فى الزراعة وقد تزيد عن ٨٠% بالبلدان النامية وتصل نسبة المياه المستغلة فى الزراعة بجمهورية مصر العربية من مجموع مواردها المائية ٨٠,٣%. ومن المتوقع زيادة المياه المستخدمة فى العالم للري لتوفير الاحتياجات المتزايدة لإنتاج الطعام بالأعوام القادمة مما سيعرض البشرية لمعاناة قاسية نتيجة لنقص الموارد المائية واستمرار التنافس الحاد على المياه النظيفة. ورغمما عن توافر المياه على مستوى العالم إلا أن هناك نقص حاد ومستمر بالمناطق الجافة وشبه الجافة نتيجة للاستغلال الشديد لمصادر المياه. وبذلك أصبح الاعتماد على المياه العذبة يمثل موقفاً حرجاً يهدد الإنتاج الزراعى مما سيؤدى إلى نقص الغذاء وانتشار الفقر.

من هنا كان التحدى الذى يقابل المشتغلين بالزراعة من أجل العمل على زيادة إنتاج الغذاء بأقل قدر من المياه وعلى الأخص بمناطق الموارد المائية المحدودة، بحيث يتم تقليص نسبة استخدام مياه الري فى الزراعة إلى ٣٠% دون الإخلال بكميات الغذاء المنتج والاعتماد على الأمطار بحلول عام ٢٠١٥.

لذلك تبرز أهمية معرفة أثر نقص المياه على نمو وإنتاجية محاصيل الحقل وكيفية مواجهة ذلك حيث يتأثر الإنتاج سلباً للمحاصيل المختلفة عند التعرض للإجهاد الرطوبي لذلك كان من الضروري بمكان استنباط محاصيل حقلية تستطيع أن تتواءم أو تقاوم أو تهرب من الجفاف ويتوقف ذلك على الصنف أو الأصل الوراثي وفترة نمو النبات التي تتعرض لنقص الماء.

إن العلاقة بين إجهاد الجفاف والنمو علاقة معقدة إذ أن النمو محصلة لجميع العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات مثل التمثيل الضوئي والتنفس وامتصاص العناصر الغذائية وغير ذلك وهذه كلها عمليات تتأثر كثيراً بإجهاد الجفاف، ولما كان وزن النسيج النباتي أو العضو أو النبات جميعه محصلة لعدد الخلايا ومتوسط وزن الخلية الواحدة لذلك فهذه أهمية في فهم تأثير الإجهاد الجفافي على النمو. إن إنقسام الخلايا حساس للإجهاد الجفافي إلا أنه قد لوحظ أن خلايا أوراق النباتات التي تعرضت لفترات من الإجهاد يتماثل مع عدد الخلايا بأوراق النباتات التي لم تتعرض للإجهاد مما يشير للاحتفاظ بالكفاءة على استئناف النشاط بعد الشفاء من الإجهاد، وقد يستمر إنقسام الخلايا أثناء الإجهاد ولو كان بمعدل منخفض. ويسمح هذا بالاستئناف السريع النسبي للنمو عند إزالة الإجهاد. ويؤثر الإجهاد حتى المستويات البسيطة منه على حجم الخلية. وتأثر الحجم أول مظاهر نقص الماء ويعتبر السبب الرئيسي لتقرم النباتات تحت ظروف الحقل بالتعرض لإجهاد الجفاف. ويؤدي ذلك إلى نقص المساحة الكلية لأوراق النبات وبالتالي نقص سطح التمثيل الضوئي مما يعمل على قلة المواد الممثلة بالنبات وحيث تحدث جميع العمليات الحيوية وتنقل المواد الممثلة والعناصر الغذائية والهرمونات وغيرها في وسط مائي. كذلك فإن نشأة وتخصص أصول الأنسجة الخضرية والتناسلية بالمرستيم القمي وزيادة أحجام الخلايا حساسة لإجهاد الجفاف. كما أن نقص الماء يؤثر على امتصاص العناصر وتمثيل البروتين والكربوهيدرات بنقص النشاط التكويني للخلايا من الأنسجة مما يؤثر بالسلب على نمو النباتات.

ويعاثل تأثير نقص الرطوبة على الأنسجة البالغة تأثير الشிخوخة، فيؤدي الإجهاد إلى هجرة القوسفور من الأوراق المسنة إلى السوق والنسج المرستيمي ويعقب ذلك

حركة النيتروجين مما يشير إلى تقليل البروتين وهدم الوظيفة العادية للخليسة. ونميل النحور إلى أن تظل مغلقة وتصبح غير مؤدية لوظيفتها.

يؤثر الإجهاد الجفافي على معدل استطالة الجذور وقد تقف استطالته قبل المجموع الهوائي في بعض الأحيان. وينقص سرعة استطالة الجذر تزيد سرعة المسويرة كما تقل المنطقة غير المسويرة حتى تزال في الجذور التي لا تستطيل، وهذه ظاهرة عادية تحت ظروف الإجهاد الشديد وتقلل السطح الفعال للجذور.

وينبغي مراعاة تأثير نقص الماء على المحاصيل فمثلا في حالة محاصيل الحبوب يمكن معرفة التأثير على كمية المحصول في أطوار معينة وهي طور التهيئة للإزهار وتكوين النورة حيث يتحدد عدد الحبوب وفي طور الإزهار والإخصاب حيث يثبت عدد الحبوب بينما في طور إمتلاء الحبوب يزداد وزن الحبوب.

ويمكن الحصول على أكبر محصول بالمحافظة على مستوى مائي وافر بالحاصلات النجيلية أثناء نموها، وبإحدى التعرض لإجهاد رطوبي خفيف أو لمدة قصيرة لنقص المحصول إلا أنه يمكن تعويض هذا التأثير بالنمو اللاحق تحت الظروف الملائمة. وفي هذا الصدد يبدو أن مرحلة تكوين النورات هي أكثر المراحل القابلة للتكيف وهو حقيقى أكثر في بعض الحاصلات عن البعض الآخر ويبدو أن مرحلة تفتح الإزهار هي أقل المراحل من حيث القابلية للتكيف.

ويقل الإجهاد الجفافي حتى البسيط منه سرعة ظهور أصول الأزهار. ويلاحظ أن عدد الأصول أكثر استجابة للإجهاد الجفافي عن اكتمال الأصول في عالية حاصلات الحبوب. وإذا تعرضت النباتات لإجهاد شديد أو لفترة طويلة لنقص السبيلات بدرجة كبيرة. وفي طور التهيئة للإزهار يؤثر الإجهاد الجفافي على العدد الفعالي للحبوب بالنورة. وفي مرحلة تكوين أصول السبيلات إلى مرحلة الإخصاب تكون حساسة. وهكذا يعمل إجهاد الجفاف على نقص عدد الحبوب بالنورة أو يؤدي إلى نقص عدد السبيلات الخصبة. يؤثر تعريض نباتات القمح للإجهاد الجفافي لفترة تمتد لنحو ٣ أسابيع قبل وبعد طرد السنابل على كمية المحصول. ويكون الانخفاض أكبر عند التعرض قبل طرد السنابل للتأثيرات الكبيرة على عدد الحبوب المتكونة بالسبيلة (انظر الباب التاسع الخاص بإرواء المحاصيل).

يؤدي تعريض النباتات للإجهاد الجفافي أثناء تفتح الأزهار إلى نقص الإخصاب وعقد الحبوب في معظم النجيليات ويبدو أن الذرة هو أكثر النباتات حساسية في هذا الطور. ويرجع نقص الإخصاب إلى جفاف حبوب اللقاح وإلى إعاقة إنبات حبوب اللقاح أو نمو أنبوبة اللقاح من الميسم إلى البويضات. يتأثر متوسط وزن الحبة بظروف قبل الإزهار وظروف بعد الإزهار ويلاحظ أن ظروف بعد الإزهار أكثر أهمية في غالبية الأحيان. من هنا يتضح تأثير كمية المحصول بالإجهاد الجفافي كما يؤثر على جودته.

### العوامل المتحكمة في التوازن الداخلي للماء بالمحاصيل:

إن التوازن الداخلي ودرجة انتفاخ خلايا النبات تتوقف على المعدل النسبي لامتنصاص وفقد الماء والذي يتأثر بعوامل معقدة من المناخ والأرض والنبات فالجهد المائي للورقة يقترب من الجهد المائي للأرض عند بقاء معدل التفتح حيث ينقص الجهد المائي للورقة بنقص الجهد المائي للأرض في حالة جفاف الأرض أو احتواءها على الأملاح. تتم حركة الماء استجابة للتدرج في الجهد فعندما تكون الجذور في حالة إتران مع جهد ماء الأرض ويكون الأخير قريب من الصفر يصل مستوى انتفاخ الورقة أو النبات للجهد المائي المطلوب. يحدث ذلك عند انخفاض متطلبات عملية التبخير كما يحدث أثناء الليل أو في الصباح الباكر قبل سطوع الشمس. وعند زيادة معدل التفتح مواكبا لزيادة التبخير أثناء النهار ينقص ضغط انتفاخ الأوراق العليا ويتدرج الجهد المائي خلال النبات من سطح تبخير الأوراق حتى سطح امتصاص الجذور. وعادة ما يزيد معدل فقد الماء عن معدل امتصاصه مما يسبب نقص للماء داخل النبات، والتي تؤثر بدورها على العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات والمؤثرة مباشرة على النمو والمحصول.

إن الجهد المائي للخلية يعادل نقص ضغط الانتشار وعادة ما يكون الجهد المائي للخلية ذو قيمة سالبة وعندما يساوى مقداره صفراً تكون الخلية في كامل انتفاخها، وعند وجود ميل لنقص ضغط انتشار الخلية بين الأرض والنبات لصالح النبات يقوم النبات بامتصاص الماء من الأرض كما هو واضح من الجدول السابق رقم ٥-١

بالباب الخامس) حيث يقل الجهد المائي للجو عن مثبته للورقة والذي بدوره يقل عن الجهد المائي للأرض مما يعمل على تحريك كتلة الماء من الأرض للنبات ومنه إلى الجو.

لقد وجد أن المحاصيل ثلاثية ورباعية الكربون المروية جيداً تستهلك قدراً كبيراً من الماء في الأوقات الحارة المشمسة يتراوح ما بين ٥٠-٨٠ طن للهكتار يومياً لتنتج المحصول الاقتصادي مما أثار حفيظة الباحثين لدراسة ما يحدث لهذه الكميات الكبيرة من المياه التي تمتصها الجذور وذلك بتقييم كميات المياه المستخدمة في العمليات الفسيولوجية المختلفة الدائرة بالنبات لكل وحدة من الكربوهيدرات الناتجة من صافي عملية التمثيل الضوئي (جدول ٦-١).

جدول (٦-١): كميات المياه المستخدمة للعمليات المختلفة الدائرة بالنبات لوحدة واحدة من الكربوهيدرات ناتجة من صافي عملية التمثيل الضوئي (عدد طن مياه/ طن من ك بدأ).

العملية	عدد طن مياه/ طن من ك بدأ
البقاء	٠,٦
تخزين داخل الخلية	٢
انتاج من الأوراق	
لحافات ثلاثية الكربون	أكثر من ٤٠٠
لحافات رباعية الكربون	أكثر من ٢٠٠
لحافات عراسيلايا	أكثر من ٥٠

حيث يتضح أن معظم الماء الممتص بجذور النباتات قد استهلك في عملية السطح بالأوراق وهذا يعني أن حركة الماء بمنظومة التربة-النبات-الغلاف الجوي يتم التحكم فيها بواسطة قمة النباتات.

### الإنجازات المستخدمة في الحد من المياه المستعملة في الزراعة:

يوجد اتجاه متنامي في وقتنا المعاصر يعتمد على تحسين إنتاجية المياه من خلال تقليل ماء الري وعدد الريات حتى يتم توفير مياه للمحصول تقل عن الحد الأمثل يؤدي إلى تعرضه إلى إجهاد مائي معتدل mild يسمح بالحصول على محصول يقل قليلاً عن



المحصول الأمثل ويتميز بجذوى اقتصادية مرتفعة بالنسبة للجذوى الاقتصادية لوحدة الماء لمحصوله النامى تحت وفرة من المياه مما يتطلب دراية بمعرفة استجابة المحصول للموائمة للجفاف وكيف يختلف ذلك تبعاً لاختلاف الأنواع، الأصناف ومرحلة النمو. ويتوقف محصول النبات على الصفات المورفولوجية أو الفسيولوجية أو كليهما ومن ذلك يتطلب تعديل العمليات الزراعية بما يتواءم مع نقص ماء الري مثل إنقاص عدد النباتات بوحدة المساحة، تقليل إضافة الأسمدة، تبنى مواعيد زراعة مربية واختيار أصناف قصيرة العمر على أن يكون الهدف رفع كفاءة استعمال الماء أى محاولة رفع كمية المحصول المنتج من وحدة الحجم من الماء بتعرض النبات لنقص ماء الري أثناء فترة معينة من النمو أو خلال فترة نموه بأكملها دون حدوث نقص معنى للمحصول مع تحقيق جدوى اقتصادية للمنطقة أو/و الدولة.

لقد درس الكثيرون الجدوى الاقتصادية لإنقاص ماء السرى دون التأثير على المحصول معنوياً لتوفير المياه لزراعة محاصيل أخرى، فقد وجد (Stegman 1982) أن محصول الذرة لم يتأثر معنوياً بزراعته تحت الري بالرش بإمداده بالماء بعد استنفاد 30-40% من الماء القابل للاستفادة مقارنة بزراعته تحت الري بالتقيط مع الحفاظ على الرطوبة الأرضية عند مستوى جهد مائى يقرب من الصفر بمنطقة الجذور. وذكر (Kang et al 2000) أن تنظيم نقص ماء الري في فترات معينة أثناء نمو الذرة أدى إلى توفير الماء مع الحفاظ على كمية المحصول. وأضاف (Stegman et al 1990) أن تعرض فول الصويا لفترة إجهاد رطوبى قصيرة أثناء الإزهار المبكر أدت إلى تساقط الأزهار والقرون إلا أن ذلك أمكن تعويضه بواسطة النبات بمجرد زوال الإجهاد الرطوبى حيث زاد عقد القرون على العقد العليا. وأوضح كل من (Speck et al 1987) and (Eck 1987) (Korte et al 1983) (1989) أن فول الصويا حساس لإضافة الماء لذلك ينبغي الحذر عند ريه. ولقد أوضح (Thomas et al 1976) استطاعة القطن الحفاظ على الجهد المائى المنخفض والتنظيم الأسموزى لضغط انتفاخ الورقة عند التعرض لإجهاد مائى ضعيف أثناء فترة النمو الخضري مما يؤدي إلى زيادة تحمل الجفاف إذا تعرض للإجهاد الرطوبى بعد ذلك. وسلك كل من بنجر السكر (Oylukan, 1973) (Winter, 1980) ودوار الشمس (Jana et al, 1982; Rawson and Turner 1983). Karaata, 1991) والقمح (Musick and Dusck, 1980) نفس الاتجاه. ويوضح جدول (٦-٢) حساسية بعض المحاصيل لنقص الماء.

جدول (٦-٦): حساسية بعض المحاصيل لنقص الماء

درجة الحساسية	درجة الحساسية		
	منخفض	منخفض - متوسط	متوسط - عالي
محاصيل الحقل	الكسافا، القطن، التبن، ياملة	الفرحيم الحجازي، الفول السوداني، فول الصويا، بنجر السكر، دوار الشمس، القمح	الفول، الذرة الشامية
			الأرز، قصب السكر، بطاطس

وعلى ذلك يتطلب نقص الموارد المائية على مستوى المنطقة تبني الحفاظ على معظمة إنتاج المحاصيل بها (Stegman et al, 1990) بالسماح بنقص المحصول نقصا غير إقتصادي بزراعته تحت ظروف نقص ماء الري لتوفير المياه لزراعة محاصيل أخرى بما يتم توفيره من المياه بحيث يصبح العائد الإقتصادي مجزيا من المنطقة. ويطلق على هذه الطريقة عدة مصطلحات جديدة لجدولة الري مثل تنظيم نقص ماء الري، الخطة الإستباقية لنقص معدل التبخير بخس، نقص ماء الري (English et al, 1990).

### إدارة نقص ماء الري

تختلف ممارسة هذه الطريقة عن الطريقة التقليدية لإمداد المحصول بالماء حيث يلزم التعرف على نقص التبخير المسموح به والذي لا يؤثر معنويا على كمية المحصول الاقتصادي، مع الأخذ في الاعتبار كفاءة استعمال الماء بالنقص الري بحيث يكون نقص المحصول غير معنوي وغير إقتصادي. بمعنى أن يكون الضرر الناتج من نقص المحصول أقل بالمقارنة بالفوائد التي تعود من توفير الماء لري محاصيل أخرى. وقبل تطبيق هذه الطريقة ينبغي التعرف على استجابة المحصول للإجهاد الجفافى إما أثناء فترات معينة من النمو أو طول فترة نموه (Kirda and Kanber, 1999)، كذلك من المهم التعرف على كفاءة احتفاظ الأرض بالماء حيث يكون تأثير هذه الطريقة عكسيا بالأراضي الخفيفة عن الأراضي الثقيلة.





$$1 - \frac{Y_p}{Y_m} = k_p \times (1 - \frac{ET_p}{ET_m}) \quad (1)$$

حيث أن:

$Y_p$  = المحصول المتوقع النامي تحت نقص ماء الري (نقص معدل النتح بخر)

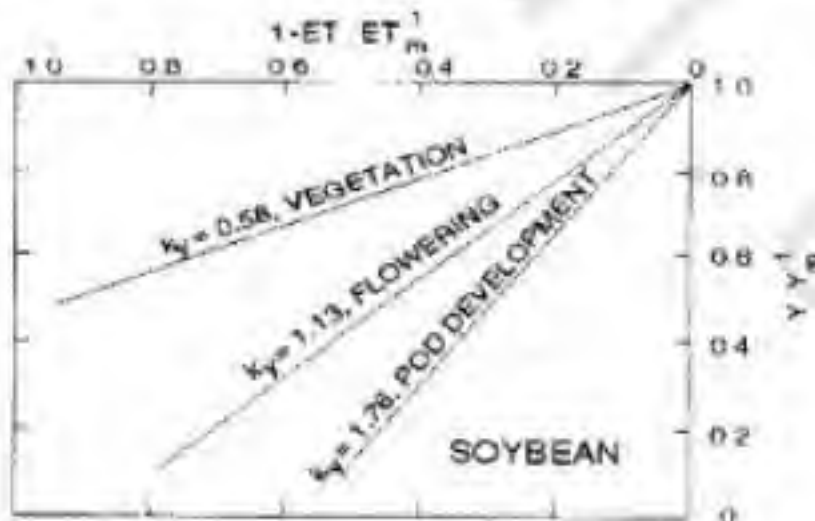
$Y_m$  = المحصول النامي تحت وفرة ماء الري

$ET_p$  = معدل النتح بخر الحقيقي (المتخفيض)

$ET_m$  = معدل النتح بخر الأكبر (الوقير)

$k_p$  = معامل استجابة المحصول

وبخلاف معامل استجابة المحصول تبعاً للنوع النباتي، الصنف، طريقة الري، الإدارة ومرحلة النمو التي تعرضت لنقص مياه الري، وتعتبر قيمة معامل استجابة المحصول على التحمل للإجهاد الجفافي، فإذا كانت أكبر من الوحدة دل ذلك على أن النقص النسبي للمحصول المتوقع أكبر من النقص النسبي لخفض النتح بخر أو إن شئت قل حدث نقص إقتصادي في المحصول بنقص ماء الري. والعكس صحيح حيث يدل معامل استجابة المحصول الأقل من الوحدة على أن النقص النسبي للمحصول المتوقع أقل من النقص النسبي لخفض النتح بخر أو أن النقص في المحصول غير إقتصادي بخفض ماء الري. وقد أوضح Kirda et al (1999a) العلاقة النسبية بين استجابة محصول بذور فول الصويا ونقص معدل النتح بخر بثلاث مراحل من النمو (شكل ٦-١).



شكل (٦-١): العلاقة النسبية بين استجابة محصول بذور فول الصويا ونقص معدل النتح بخر بثلاث مراحل من النمو

حيث يلاحظ أنه بالتعرض لنقص الماء أثناء مرحلة النمو الخضري ومرحلة الإزهار ومرحلة تكوين القرون يكون معامل استجابة المحصول في كل مرحلة ٠.٥٨، ١.١٣، ١.٧٦ على الترتيب. وبذلك يتضح أن التعرض لنقص ماء الري أثناء مرحلة النمو الخضري لا يؤثر على محصول فول الصويا (معامل استجابة المحصول أقل من الوحدة) بقدر التعرض له أثناء الإزهار أو تكوين القرون (معامل استجابة المحصول أكبر من الوحدة) والمرحلة الأخيرة أكثرهم ضرراً.

ويوضح جدول (٦-٤) قيم معامل استجابة المحصول لعدد من المحاصيل المختلفة عندما تكون قيمته أقل من الوحدة مما يعنى قبول ممارسة الري لنقص ماء الري وحدوها الاقتصادية بالتعرض خلال حياته وأثناء فترات محددة منها لنقص الرطوبة. كما يتضح أيضاً اختلاف المحاصيل في استجابتها باختلاف مراحل النمو بالإضافة إلى طريقة الري.

جدول (٦-٤) قيم معامل استجابة المحصول لعدد من المحاصيل المختلفة

Crop	Specific growth stage	$k_s$	Irrigation method	Reference
Common bean	Vegetative. Yield formation	0.57	Furrow	Calvache and Reichardt (1999)
		0.87		
	Whole season	0.99	Sprinkler	
Cotton	Flowering and yield formation	0.99	Sprinkler	Bastug (1987)
	Whole season	0.86	Drip	
	Bud formation.	0.75	Check	Prieto and Anguiano (1999)
	Flowering	0.48	Furrow	
	Boll formation.	0.46	Furrow	
	Flowering.	0.67		
Groundnut	Vegetation	0.88		Anac et al (1999)
Groundnut	Flowering	0.74	Furrow	Ahmad (1999)
Maize	Whole season	0.74	Sprinkler	Cracium and Cracium (1999)
Soybean	Vegetative	0.58	Furrow	Kirda et al (1999a)
Sunflower	Whole season	0.91	Furrow	Karaata (1991)
	Vegetative and yielding	0.83	Furrow	

Crop	Specific growth stage	$k_s$	Irrigation method	Reference
Sugar beet	Whole season	0.86	Furrow	Hazra and Tayari (1999)
	Yield formation and ripening	0.74	Furrow	
	Vegetative and yield formation	0.64		
Sugar cane	tillering	0.40	Furrow	Pene and Edr (1999)
Potato	Vegetative	0.40	Furrow	Iqbal et al. (1999)
	Flowering	0.33		
	Tuber formation	0.46		
	Whole season	0.83	Drip	Kovacs et al. (1999)
Wheat	Whole season	0.76	Sprinkler	Madanoglu (1977)
	Whole season	0.93		
	Flowering and grain filling	0.39	Basin	Wahed et al. (1999)

وعلى ذلك فمن المتوقع زيادة كفاءة استعمال الماء (WUE) في هذه الحالات حتى ينقص المحصول ويعبر عن كفاءة استعمال الماء للمحصول بالمعادلة (2)

$$E_c = Y / Et_s \quad (2)$$

حيث أن:

$E_c$  = كفاءة استعمال الماء للمحصول

$Y$  = المحصول (كيلوجرام/هكتار)

$Et_s$  = معدل النتح بخر الحقيقي (مم)

من المعادلة (1) و (2) يمكن استنباط المعادلة (3) التالية لتقدير كفاءة استعمال الماء

$$E_c = \frac{Y}{Et_s} = \left[ k_s + \frac{k_s - 1}{Et_s / Et_m} \right] \times \frac{Y_m}{Et_m} \quad (3)$$

حيث أن:

$E_c$  = كفاءة استعمال الماء (تتوقف على معامل إنتاجية المحصول  $K_s$ )

وبذلك يمكن تعويض النقص فى المحصول بتوفير مياه للتوسع فى زراعة محاصيل أخرى تعوض وتزيد عن النقص الحادث اقتصاديا.

يوضح جدول (٦-٥) الزيادة المتوقعة النسبية للمحصول وكفاءة استعمال الماء النسبية بإنقاص ٢٥% من معدل النتج بخر لمحاصيل الحقل الرئيسية. ويتم ذلك حينما يكون النقص النسبى فى المحصول أقل من النقص النسبى للنتج بخر. ومثال على ذلك أنه فى حالة تعرض نباتات الذرة لإنقاص ٢٥% من معدل النتج بخر طول فترة نمو المحصول يتم الحصول على ٨٢% من المحصول كما هو موضح بالجدول وعندئذ تكون كفاءة استعمال الماء ١,٠٩ بالمقارنة بالمحصول الذى لم يخفض له معدل النتج بخر وهذا يعنى إمكانية زيادة الرقعة المنزرعة بتوفير مياه المحاصيل التى ترتفع كفاءة استعمالها للماء بنقص معدل النتج بخر. إلا أن ذلك يتدرج على المحاصيل التى تتعرض لهذا النقص طول فترة حياتها وذلك لإمكانية حساب احتياجها المائى. وفى حالة تعرض النباتات لفترة معينة فيستوجب ذلك حساب كمية الماء الواجب توفيرها لمعرفة الاحتياج المائى الكلى (الاستهلاك المائى) خلال هذه المرحلة. حيث أنه فى حالة زيادة كفاءة استجابة معامل المحصول ( $K_p$ ) يحدث نقص فى كفاءة استعمال الماء ( $E_p$ ) مما يعنى أن العائد من نقص ماء الري قد يكون مختلفا تبعا لمرحلة النمو التى تتعرض لنقص المياه. ويمكن القول أن تعريض أربع مراحل فسيولوجية تكفى لوصف مدى حساسية المحصول للإجهاد المائى فى هذه المراحل. ويمكن إجمال هذه المراحل فى الآتى:

الأولى Initial stage فيها تغطى النباتات ١٠% من سطح الأرض.

الثانية Crop development تبدأ من نهاية المرحلة الأولى إلى اكتمال التغطية وبداية الإزهار.

الثالثة Mid season تبدأ من نهاية المرحلة الثانية إلى بداية النضج.

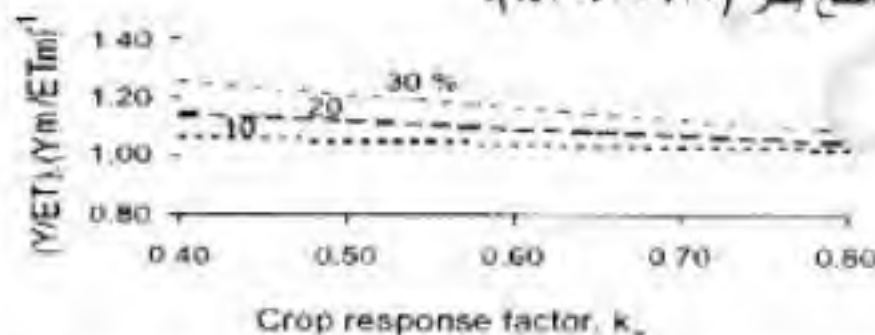
الرابعة Late season تبدأ من نهاية المرحلة الثالثة إلى الحصاد.

جدول (٥-٦) الزيادة المتوقعة النسبية للمحصول وكفاءة استعمال الماء النسبية بانخفاض ٢٥% من

معدل النتج بخر لمحاصيل الحقل الرئيسية

Crop	Stage when ET deficit occurred	$k_p$	Irrigation method	Expected relative yield	Relative water use efficiency
Common bean	Vegetative; Yield formation	0.57	Furrow	0.86	1.14
		0.87		0.78	1.04
Cotton	Whole season; Boll formation and flowering	0.86	Drip Furrow	0.79	1.05
		0.48		0.88	1.17
Groundnut	Flowering	0.74	Furrow	0.82	1.09
Maize	Whole season	0.74	Sprinkler	0.82	1.09
Potato	Whole season	0.83	Drip Furrow	0.79	1.06
	Vegetative	0.40		0.90	1.20
Soybean	Vegetative	0.58	Furrow	0.86	1.14
Sugar beet	Whole season	0.86	Furrow	0.79	1.05
	Mid-season	0.64		0.84	1.12
Sugar cane	Tillering	0.40	Furrow	0.90	1.20
Sunflower	Whole season	0.91	Furrow	0.77	1.03
	Vegetative	0.87		0.79	1.06
Wheat	Whole season	0.76	Sprinkler Furrow	0.81	1.08
	Flowering and grain filling	0.59		0.90	1.20

ولتقييم الحساسية للماء تعرض النباتات لخفض مياه الري أثناء فترة واحدة معينة من النمو. ويوضح شكل (٢-٦) العلاقة بين كفاءة استعمال الماء الحقلية ومعامل استجابة المحصول عند خفض النتج بخر حيث يتضح أنه عند نقص معامل استجابة المحصول للماء عن الوحدة تزيد كفاءة استعمال الماء وذلك تحت النسب المختلفة من نقص معدل النتج بخر (١٠، ٢٠، ٣٠%).



شكل (٢-٦): العلاقة بين كفاءة استعمال الماء الحقلية ومعامل استجابة المحصول عند خفض معدل النتج بخر



ويمكن القول أن تعريض المحاصيل لنقص محدود من ماء الري في مراحل نمو مختلفة يعمل على نقص المحصول بكمية قليلة تؤدي إلى قبول دراسات الجدوى الاقتصادية كما يحدث في حالة التعرض لنقص ماء الري بمرحلة الإزهار وتكوين اللوز في القطن، امتلاء الحبوب في القمح، النمو الخضري وتكوين المحصول في دوار الشمس وبجر السكر وقول الصويا.

وقد أقام عبد الجواد وآخرون (١٩٩٣) Abd El-Gawad et al 1993a دراسة حقلية عن تأثير تعطيش نباتات القمح في المراحل المختلفة من العمر فوجد نقص نمو القمح بالتعطيش في طور التفريع، طرد السنابل، النضج اللينى والعجنى الأصفر بالإضافة إلى نقص عدد الثغور في سطح ورقة العلم. كما وجد أن كفاءة استخدام الماء تراوحت بين ١.٣١-٣.١٩ كجم/م<sup>٢</sup> (عبد الجواد وآخرون ١٩٩٣) Abd El-Gawad et al 1993b عند حرمان نبات القمح من الري في طور التفريع إلى طور النضج العجنى الأصفر على الترتيب.

وعند تعريض النباتات لإجهاد الجفاف يؤدي ذلك لتقليل معدل النتج بخر الذى يؤدي بدوره إلى غلق الثغور ونقص عملية التمثيل الكربونى مما يؤدي إلى نقص إنتاج الكتلة الحيوية الكلية Biomass ولا شك أن ذلك له تأثير طفيف على المحصول النهائى في حالة المحاصيل التى تتميز بقدرة إنتاجية تعويضية عالية حيث يحفز نقص فترة النمو الخضري العمليات الفسيولوجية التى تسبب زيادة في المحصول مثل نفع النباتات لإزهار القطن، وزيادة تعمق المجموع الجذرى والنضج في محاصيل الحبوب وتحسين الجودة والطعم في ثمار الفاكهة على حين يؤدي تعريض النباتات لإجهاد الجفاف أثناء مرحلة الإثمار إلى التأثير على العقد في محاصيل الحبوب مما يؤثر على المحصول.

ولقد أدى رش المجموع الخضري بالبرولين اصنعتين من الذرة الشامية عند عمر أسبوعين والنامية بالحقل تحت ظروف الإجهاد الرطوبى إلى تنشيط العديد من العمليات الفسيولوجية حيث أوضحت الدراسة زيادة تركيز المغذيات المعدنية بالمسوق والجذور بأنسجة النباتات المعاملة عن غير المعاملة فزاد تركيز كل من البوتاسيوم، الكالسيوم، النيتروجين والفوسفور (Ali et al, 2008).

إن التطبيق الصحيح لإنقااص ماء الري يمكن من توفير الماء لري محاصيل الحقل الأخرى. حيث أظهرت محاصيل القول السودانى، قول الصويا، الفاصوليا

والقصص زيادة نسبية في نقص المحصول مقارنة بنقص التبخير بخسر النسبي الذي يتعرض له في مراحل معينة من النمو، مما يعني تأثيرها بنقص ماء الري. على حين أن محاصيل القطن، الذرة الشامية، القمح، دوار الشمس، بنجر السكر والبطاطس تتناسب مع تكتيك نقص كمية مياه الري المضافة إما أثناء موسم النمو بأكمله أو عند مراحل النمو المحددة سابقاً، حيث أن نقص مياه الري بمرحلتى الإزهار وتكوين اللوز بالقطن وأثناء الإزهار بالقمح، مراحل النمو الخضري لقول الصويا ودوار الشمس ومرحلة إنتاج الأقراص بدوار الشمس وتكوين الجذور بينجر السكر، قد أعطت نتائج مقبولة لدراسات الجدوى مما يعطى مؤشرات لممارسة تقنية إنقاص مياه الري.

### استخدام النمذجة في محاكاة استجابة المحاصيل للماء:

إن تدهور مصادر الماء وزيادة متطلبات الغذاء تحتاج لزيادة كفاءة استعمال ماء الأمطار وماء الري في الزراعة كما سبق القول لذلك يلعب استخدام النمذجة دوراً مهماً في تطوير التوصيات العملية لتحقيق أمثل إنتاجية للمحاصيل تحت ظروف ندرة المياه وفي عام ١٩٩٢ تم تطوير النموذج CROPWAT (1998) بواسطة قسم تطوير الأراضي والمياه التابع لمنظمة الأغذية والزراعة الذي يوضح نموذج بسيط للتوازن المائي الذي يسمح بمحاكاة ظروف الإجهاد الرطوبي للمحاصيل مع تقدير النقص في المحصول عن طريق قياس معدل التبخير بخسر للمحصول (منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة ١٩٩٨) حيث استخدم Kirda et al (1999b) بيانات ثلاث دراسات أقيمت لتقييم إمكانية استخدام هذا النموذج للري بحساب النقص النسبي للمحصول منسوباً للنقص النسبي لمعدل التبخير بخسر وحساب معامل استجابة المحصول بتطبيق المعادلات العملية Empirical (FAO, 1979) والتي أمكن من خلالها تحليل مجموعة من قيم معامل استجابة المحصول لستة وعشرون محصولاً خلال مراحل نمو مختلفة كما في المعادلة التالية:

$$1 - Y_a/Y_{max} = K_r (1 - E_t/E_{T_m})$$

حيث أن:

$1 - Y_a/Y_{max}$ : مكونات النقص في المحصول الناتج من نقص معدل التبخير بخسر

$1 - E_t/E_{T_m}$ : نقص معدل التبخير بخسر

وتتضح إمكانية محاكاة النموذج المذكور لنقص المحصول الناتج من التعرض للإجهاد المائى بالإضافة إلى تحديد حساسية مراحل النمو المختلفة التى يكون للإجهاد الرطوبى تأثير سالب على المحصول. مع إمكانية إمداد المزارعين ورجال الإرشاد الزراعى بالمعلومات التى تمكنهم من جدولة نقص ماء الري تحت مختلف الظروف من الإمداد المائى وإدارة الأرض والمحصول.

#### الموانمة لظروف الرطوبة غير الملائمة:

تتعرض المحاصيل أثناء حياتها إلى ظروف من الرطوبة غير الموانمة فقد تتعرض للجفاف ويكون ذلك ناتج من نقص الأمطار أو تأخير الري أو التعرض للرياح الحارة الجافة التى يسبب عنها ارتفاع معدل النتح بخر المقارن الذى يسبب نقص فى أداء المحصول ممثلاً إما فى قدرة النبات على البقاء أو إنتاج المحصول الإقتصادى أو التأثير على جودة المحصول.

#### أقلية المحاصيل للبيئات ذات المياه المحدودة

بمعنى الجفاف جفاف الأرض الناتج من نقص الأمطار أو تأخير الري أو التعرض للرياح الحارة الجافة (ارتفاع النتح بخر المقارن) الذى يسبب نقص فى أداء المحصول ممثلاً إما فى قدرة النبات على البقاء أو إنتاج المحصول الإقتصادى أو التأثير على جودة المحصول. أما ألية الأقلية للجفاف فهى تتضمن كل من الهروب من الجفاف والمقاومة للجفاف.

١- الهروب من الجفاف: هو قدرة النبات على استكمال مراحل نموه الحساسة للجفاف (مراحل الإزهار، تكوين البذور، تكوين الثمار) فى الفترات التى لا يتعرض فيها للجفاف أثناء موسم النمو. والأمثلة على ذلك المحاصيل الحولية قصيرة العمر التى تنمو تحت الظروف المصرية بالساحل الشمالى الغربى حيث قلة سقوط الأمطار. فنجد أن الأصناف الموقلمة جيداً للجفاف يتواءم لها الوقت الأمثل للإزهار وفتره كافية من الزراعة للحصاد تتوافق مع فترة سقوط الأمطار فعلى سبيل المثال فإن تعرض الأصناف طويلة العمر للجفاف أثناء مرحلة امتلاء الحبوب سيؤدى إلى نقص حجم الحبوب وأحياناً نقص حيويتها مما يعمل على نقص محصول الحبوب. وفى حالة إزهار الأصناف قصيرة العمر مبكراً جداً تحت وفرة المياه تنخفض

قدرة النباتات على إعطاء المحصول أصغر الحبوب عن الأصناف طويلة العمر. كذلك فإن الأصناف التي تزهر مبكراً جداً قد تعاني من الإصابة بالعفن نتيجة لزيادة الأمطار أثناء مرحلة الإثمار ونضج البذور وبذلك فإن تقدير وقت وطول فترة التزهير المثلى لمناخ معين لمنطقة بعينها يصبح شديد التعقيد لذلك تنشأ مشاكل عديدة نتيجة عدم انتظام سقوط الأمطار بالمواسم المختلفة.

٢- المقاومة للجفاف: تعرف بأنها قدرة أو ارتفاع قدرة صنف أو نوع على إنتاج محصول إقتصادي مرتفع عند التعرض لجفاف التربة أو الجو، وتباين المقاومة للجفاف في أنواع محاصيل الحقل المختلفة. فنعمد مقاومة المحاصيل للجفاف على طبيعة المنتج الإقتصادي لأنواع المختلفة حيث أن مقاومة المحاصيل الورقية للجفاف ذات المنتج الإقتصادي الورقي منخفضة لتأثر كمية وجودة المحصول حتى لو كان الجفاف قليلاً حيث يلزم أن تحافظ على ارتفاع انتفاخ الخلايا باستمرار إضافة الماء في بيئة تتخفف بها متطلبات عملية التبخير مثل المناطق الباردة أو الرطبة. وتكون المحاصيل الدرنية أكثر مقاومة للجفاف عن المحاصيل الورقية حيث تتأثر بالجفاف في المدى بين القليل والمتوسط. على حين أن محاصيل الدريس مثل البرسيم الحجازي يكون أكثر مقاومة للجفاف لتمييزه بالجذور المتعمقة بالأرض والتي تمكنه من استخلاص الماء تحت هذه الظروف دون معاناة من نقص المحصول، وتعتمد المحاصيل المثمرة في مقاومتها للجفاف على مرحلة النمو، نوع المنتج الإقتصادي وطبيعة النمو الخضري، فإذا كانت من المحاصيل محدودة النمو تكون مقاومة للجفاف في مرحلة النمو الخضري أكثر منه أثناء مراحل الإزهار المبكر أو الإثمار. وتقاوم المحاصيل المنتجة للحبوب الجافة التعرض للجفاف في نهاية الموسم عن المحاصيل المنتجة للثمار العضة حيث يلزم احتفاظها بالماء للحفاظ على انتفاخ خلاياها. أما المحاصيل غير محدودة النمو كالقطن واللوبياء فيمكن أن تقاوم جفاف منتصف الموسم عن المحدودة النمو كالذرة، الأرز، الذرة الرفيعة، القمح والدخن. وذلك لإمكان إنتاج المزيد من الأوراق والثمار والبذور على الساق الرئيسي عكس الحال في النباتات محدودة النمو ولقد وجد (Gwathmey and Hall 1992) إمكانية إنتاج دورة جديدة ثانية من الأوراق، الأزهار، الثمار والبذور لنبات اللوبياء بعد إزالة الجفاف الذي قضى على

الدورة الأولى. ويمكن للنباتات محدودة النمو مقاومة الجفاف أثناء مرحلة امتلاء الحبوب عن غير محدودة النمو لقدرتها على إكمال انتقال المواد الكربوهيدراتية إلى الحبوب لمساهمة المخزن منها قبل الإزهار بنسبة 40% فى وزن الحبوب كما هو الحال فى القمح والشعير الذى تعرض للجفاف المتأخر.

ويمكن استخدام النموذج التالى لمعرفة تأثير الجفاف على المحاصيل الحولية محدودة النمو لاستخدامها فى تقدير الحساسية للجفاف بمراحل النمو المختلفة

$$Y_d = Y_w (1 \pm D_v S_v) (1 \pm D_f S_f) (1 \pm D_s S_s)$$

حيث أن:

$Y_d$ : محصول الحبوب المنتج تحت ظروف الجفاف.

$Y_w$ : محصول الحبوب المنتج تحت وفرة المياه.

$D_v$ : شدة الجفاف أثناء مرحلة النمو الخضري (v)

$D_f$ : شدة الجفاف أثناء مرحلة الأزهار (f)

$D_s$ : شدة الجفاف أثناء مرحلة امتلاء البذور (s)

$S_v$ : الحساسية للجفاف بمرحلة النمو الخضري (v)

$S_f$ : الحساسية للجفاف بمرحلة الأزهار (f)

$S_s$ : الحساسية للجفاف بمرحلة امتلاء الحبوب (s)

علمًا بأن:  $D = 1 - Et_d / Et_w$

وتتراوح قيم الحساسية ما بين ١ (عالية الحساسية) إلى صفر (عالية المقاومة). ويمكن حساب قيمة (S) من إقامة تجارب تحتوى على معاملات مختلفة للجفاف فى مراحل النمو المذكورة ثم تقاس قيمة النتج بخر (ET) لمعرفة قيمة (D) ثم حساب قيم  $Y_d$  و  $Y_w$ .

ومن المعروف أن محصول الذرة الشامية حساس جدا للجفاف أثناء مرحلة الإثمار حيث يتأثر المحصول بالتعرض للجفاف أثناء مرحلة الإزهار والإثمار حتى لو



توافر الماء بقية مراحل النمو، فإذا تعرض لفترة قصيرة من الجفاف أثناء ظهور النورة المذكورة رغما عن توافر الماء بقية المراحل الأخرى فإنه يعطى مادة جافة معقولة إلا أن الكيزان تحتوى على القليل من الحبوب لبطء خروج النورة المؤنثة (الحريرة) عن النورة المذكورة مما يعمل على الإخلال بالتوافق الزمني الذي يؤدي إلى قلة عدد الأزهار المؤنثة الملقحة رغما عن توافر أعداد حبوب اللقاح الحية وبذلك تنقص أعداد الحبوب بالكيزان وعادة ما تتماثل معظم حبوب اللقاح قبل ظهور النورة المؤنثة (Hall et al 1982)، ولقد ساء (Herrero and Johnson 1981) الضوء على آلية التعرض للجفاف على النورة المؤنثة حيث ذكر أنه عند رى الذرة استطالت النورة المؤنثة بسرعة أثناء الليل ثم قلت الاستطالة لتصل إلى الصفر أثناء النهار حيث يكون الجهد المائي للورقة مرتفع السالبة وعند التعرض للجفاف تبطء استطالة النورة المؤنثة أثناء الليل وعند حلول النهار تنكمش حيث يكون الجهد المائي للورقة أكثر سالبة منه في حالة النباتات المروية جيدا. وربما يفسر الفرق في ضغط إنبات الحريرة جزئيا الخلاف في معدل الاستطالة في حالة التعرض أو عدم التعرض للجفاف، حيث يكون معدل استطالة النورة المؤنثة أبطأ في النباتات المعرضة للجفاف عن المروية والتي يكون الجهد المائي للورقة الكوز متماثلا في الحالتين.

ولقد بنى كل من Westgate and Boyer (1986) آلية أخرى حيث ذكروا أن منع عملية التمثيل بالذرة المعرضة للجفاف يؤدي إلى نقص المواد الكربوهيدراتية المسئول نقصها عن إجهاض الأجنة، فرغما عن إنبات حبوب اللقاح ونمو الأنبوبة اللقاحية وإخصاب البويضات بالكيس الجنيني يحدث إجهاض للأجنة. وقد أيد هذا الزعم Boyer et al (1991) حيث تم منع إجهاض البويضات بإضافة السكرور للنباتات المعرضة للجفاف.

ونتيجة للرأى الأول فقد حاول مربوا المحصول تشجيع مقاومة الذرة للجفاف بانتخاب نباتات تكون الفترة بين ظهور الأزهار المذكورة وطرء النورة المؤنثة النامية تحت ظروف الجفاف قصيرة. حيث وجد أن الانتخاب التكرارى لهذه الصفة من 3-8 دورات أدى إلى زيادة في محصول الحبوب بمقدار 30-50% دون حدوث تغيير في المادة الجافة الكلية للسيقان عند تعرضها للجفاف أثناء الإزهار. لقد وجد أن هناك

ارتباط قوى وسالب بين هذه الفترة وعدم وجود علاقة للصفات المرفولوجية أو الفسيولوجية تشير لتحسين حالة الماء بالنباتات (Bolanos and Edmeades, 1996). ولقد أوصى الباحثون أنه لتربية الذرة لتشجيع المقاومة للجفاف عند التعرض له أثناء الإزهار ينبغي أن يكون من خلال إجراء الانتخاب من برنامجين الأول وفيه يتم الانتخاب لمحصول الحبوب تحت ظروف وفرة المياه والثاني للانتخاب للفترة بين طرد الأزهار المذكرة والأزهار المؤنثة، عدد كيزان النبات، ومحصول الحبوب تحت ظروف التعرض للإجهاد المائي الشديد أثناء مرحلة الإزهار (Bolanos and Edmeades, 1996).

ومحصول القمح حساس للجفاف عند التعرض للمرحلة المبكرة من الإزهار إلا أن آلية التأثير بالجفاف تختلف عما هو الحال في الذرة. حيث أن عند الحبوب في سبلة القمح يقل بالتعرض للجفاف لفترة 7 أيام قبل الإزهار. يكون عقم الزهرة مرتبط بعقم حبوب اللقاح على عكس الحال في الذرة حيث لا تتلف حبوب اللقاح بالتعرض للجفاف كما سبق القول وربما يكون زيادة مستوى حمض الأسيسيك هو المسئول عن العقم الذكري للقمح. ويستخدم النموذج التالي لمعرفة تأثير الجفاف على محصول النباتات الحولية غير محدودة النمو:

$$Y_d - Y_m (I \bar{n} D, S_c) \propto (N_{11} \bar{n} S_{11}) + (N_{12} \bar{n} D_{12} S_{12}) + O \text{ etc.}$$

حيث أن:

$N_{ij}$ : فترات الإثمار المنفصلة للنبات غير محدود النمو

$N$ : نسبة محصول الحبوب الناتج من موجة واحدة من الثمار بالنسبة لمجموع

$N_{11}, N_{12}, \dots$  إلخ وتساوى 1.

$D$ : شدة الجفاف

$S$ : الحساسية للجفاف

وعادة ما تكون  $S$  بالمحاصيل غير محدودة النمو أقل منها في حالة المحاصيل محدودة النمو حيث تنتج الأولى أوراقا أكثر بمجرد انحصار الجفاف. ويصدق هذا النموذج في حالة حدوث تلف جوهري لموجة الأزهار الأولى بحيث يتم تعويضها

جزانياً بالموجة الثانية والتي تزيد حتى عن الموجة الثانية في النباتات التي تسم ربيها جيداً. ويجدر الإشارة هنا إلى أن النموذج السابق لكي يحاكي الواقع قد يكون في غاية التعقيد لوجوب احتوائه على الكثير من المدخلات الطارئة الضرورية.

وتختلف المحاصيل في مقاومتها للجفاف حيث يتضح أن هناك محاصيل أكثر مقاومة للجفاف مقارنة بغيرها فنجد أن الذرة الرفيعة والنخس أكثر مقاومة من الذرة الشامية أكثر من الأرز، والشعير أكثر من القمح أكثر من البطاطس والفول السوداني أكثر من فول الصويا أكثر من فول الحقل.

وكما توجد اختلافات بين الأنواع توجد أيضاً اختلافات بين الأصناف والسلالات في مقاومة الجفاف حيث أن أصناف القمح مثل حيزة ١٦٨، ساكورا (Habib et al, 2010) وسخا ٩٣ أكثر تحملاً للجفاف من الأصناف الأخرى (Abdel kader et al. 2010) والصنف محين صحرأوى قادر على تحمل الجفاف في الشعير مقارنة بالأصناف الأخرى.

### ألية التحمل للجفاف

تختلف النباتات في رطوبة الوسط الذي تنتشر فيه فبعضها ينتشر بوسط رطب والبعض ينتشر بوسط جاف. ويمكن تقسيم النباتات تقسيماً بيئياً على أساس رطوبة الوسط الذي تنتشر فيه إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي النباتات المائية، الوسطية الجفاف، والجفافية أو الصحراوية. ويتضمن كل قسم من هذه الأقسام عدداً من الأنواع النباتية التي قد تكون بعيدة في قرابتها وهذا التقسيم مثل ما في كثير من التقسيمات البيولوجية يتضمن حدوداً غير قاطعة بين المجاميع.

وتتضمن النباتات المائية عدداً من النباتات التي تعيش في الأرض المشبعة بالماء والتي يرتفع بها الماء بقدر غير ملائم لنمو النباتات العادية. والماء في جميع هذه الظروف ليس ضاراً في حد ذاته، ولكن يؤدي إلى البطء الشديد لسريان الأكسجين وانتشاره في الماء وإلى وجود ظروف حرجية لا يمكن أن تواجهها أو تغلب عليها سوى النباتات المتخصصة. ولا ينتمي إلى النباتات المائية أي من محاصيل الحقل. وتعتبر نباتات الأرز والذنبية والنسيلة أقرب الحاصلات الزراعية لها. والقسم الثاني

وهو النباتات الوسطية الجفاف ولا تستطيع هذه النباتات استيطان الماء أو الأراضي المبتلة والأماكن الجافة والتي تنقص فيها كمية الماء بما لا يفي بالاحتياجات اللازمة لنمو النبات، وتنتمى معظم محاصيل الحقل كالذرة، القطن، والقمح إلى هذه المجموعة وتعيش في مناخ معتدل الحرارة والرطوبة ولكي تنمو نموا جيدا وتغل محصولا وفيرا يلزم لها كمية معتدلة من الرطوبة وتهوية جيدة حول الجذور. والقسم الثالث وهو النباتات الجفافية أو الصحراوية وتوجد في الظروف الجفافية التي لا تستطيع فيها الحصول على احتياجاتها المائية، وقد يرجع ذلك لنقص حقيقى للماء في النباتات الجافة مثل الصحارى، أو لعدم تيسر الماء للنباتات رغم وجوده، ويعتبر ذلك نقصا فسيولوجيا للماء إذ أن الماء موجود إلا أنه غير قابل للاستخدام. وتوجد هذه الظاهرة حينما يرتفع تركيز محلول الأرض، كما ينشأ في ظروف انخفاض درجة الحرارة لدرجة نقص معدل امتصاص جذور النباتات ونقص معدل انتقال الماء بالنبات. وتبدو مظاهر البيئة الجفافية في الظروف التي تساعد على فقد الماء من النباتات بمعدل أكبر من امتصاصه كما في حالة ارتفاع شدة الإضاءة ودرجة الحرارة.

تتواءم خصائص النباتات مع ظروف الرطوبة السائدة فإذا تجحت الموائمة نشأ التوازن المائى في النباتات وإذا فشلت أختل التوازن المائى وقضى على النبات. وعموما يمكن مناقشة موضوع آلية التحمل للجفاف تحت عدة مواضيع مثل فقد الماء، تنظيم الأسموزية وسلوك المحاصيل.

#### فقد الماء:

يحدث أكبر فقد في حركة الماء بمنظومة التربة-النبات-الغلاف الجوى من خلال عملية نضح الأوراق وتعتمد هذه العملية على التغيرات الحادثة في ضغط انتفاخ الخلايا الحارسة الذى يتحكم في فتح وغلق الثغور، وعند زيادة ضغط الانتفاخ يتم زيادة فتحات الثغور مما يعمل على زيادة فقد بخار الماء في عملية النضح (تعتمد التغيرات الحادثة في ضغط انتفاخ الخلية أساسا على التغيرات في جهد محلول العصير الخلوى) وينخفض جهد محلول العصير الخلوى ( $\Psi_s$ ) للخلايا الحارسة بضغط النبات كاتيون البوتاسيوم والعديد من الأيونات والسكريات الناتجة من تحول النشا إلى سكر مما يعمل على انتفاخ الماء من الخلايا المجاورة وبالتالي رفع ضغط الانتفاخ بالخلايا الحارسة

مما يزيد من فتح الثغور ويزيد من فقد بخار الماء في عملية النتح ويعمل ذلك على امتصاص الماء، بالإضافة إلى أن أي تغيير ولو بسيط يحدث في ضغط انتفاخ الخلايا الحارسة قد يحدث نتيجة للتغيرات في الجهد المائي للأوراق الناتج من التغيرات في جهد الخلايا الحارسة.

ويشابه معدل انسياب الماء من التربة إلى النبات حركة بخار الماء في عملية النتح أثناء النهار مما يوجد نقص في محتوى النبات من الماء وعلى العكس فإن سريان الماء إلى وخلال النبات يمكن أن يزيد عما هو الحال في فقد بخار الماء في فترات النصف الثاني من اليوم وعلى الأخص أثناء الليل حيث ينخفض معدل النتح مما ينتج عنه بعض شفاء لحالة الماء بالنبات ويقاس سريان الماء مابين الأرض والأوراق بالفرق بين جهد الماء للأرض والجهد المائي للورقة.

وتتم حركة الماء من المناطق ذات الجهد المائي المرتفع (قريبة من الصفر) إلى المناطق ذات الجهد المائي المنخفض (أقل من الصفر أي سالبة القيمة) وتنف حركة الماء عندما يتساوى الجهد المائي للمنطقتين.

وتحدث عدة تغييرات لاستجابة معدل النتح الجهد المائي للورقة يمكن أجمالها فيما يلي:

١. يقل معدل النتح للنباتات التي تتعرض للجفاف عن النباتات المروية.
٢. ينخفض الجهد المائي للورقة عند مستويات معينة من النتح وقبل الفجر predawn.
٣. ينخفض معدل النتح عند انخفاض جهد الورقة وقت الظهيرة عنه في الصباح.

## مكونات الجهد المائي الكلي $\Psi$

الجهد عبارة عن الطاقة الميكانيكية أو الكيماوية و التي في وسعها أن تؤدي عملاً معيناً بسبب وجودها في وضع معين أو في حالة كيماوية معينة، و يتكون الجهد المائي الكلي بالتربة والنبات من الآتي:

- ١- جهد المحلول Solute Potential ( $\Psi_s$ ) وهو الناتج عن وجود الذائبات بالماء وتعمل على إنقاص الطاقة الحرة للمحلول مقارنة بالماء النقي. وعادة ما يكون التأثير سالباً بالتربة حيث تؤدي الأملاح إلى تقليل صلاحية الماء للاستفادة بالنبات.



- ٢- الجهد المهادي Matric Potential  $\{\Psi_m\}$  ويزدى إلى نقص الطاقة الحرة للماء نتيجة لتقوى التي توجد بين الماء والمكونات الصلبة مثل التربة وجدار الخلية.
- ٣- جهد الضغط Pressure Potential  $\{\Psi_p\}$  ويعبر عن الدرجة التي تزداد بها الطاقة الحرة بواسطة الضغط كما يحدث عند الإنتفاخ في الخلية الحية أو النقص الذي يحدث بواسطة التوترات الناتجة في عناصر النظم الكبرى مثل قصيدات عناصر الخشب.

### تنظيم الأسموزية:

يخلط البعض بين مصطلح تنظيم الأسموزية الراجع إلى تجميع الذائبات والتي بزيادة تركيزاتها داخل الخلية تشجع تدفق الماء إلى الخلية مما يساعد النباتات على التأقلم لظروف الجفاف، وتغيير الأسموزية الراجع إلى تركيز الذائبات والتي قد تتطلب تراكم الذائبات التوافقية المحافظة على استمرارية بناء ووظيفة الجزيئات الكبيرة، ففي الحالة الأولى فإن العلاقات المائية للخلايا الحية تتأثر بدرجة كبيرة بتجميع الذائبات، ويحكم نمو الخلايا والأنسجة بوحدة الحجم والطول والمساحة المعادلة التالية:

$$dy/dt, \text{ or } d/d\tau, \text{ or } dx/d\tau = k \times (\Psi_p - \Psi_m)$$

حيث أن:

K: القابلية للتمدد

$\Psi_p$ : بداية جهد الضغط

وهما يعتمدان على عملية البناء والتمثيل الضوئي وارتفاع جدر الخلايا وبالتالي على درجة الحرارة.

ويكون جهد الضغط للخلايا النشطة النامية حوالي ٨ بار مما يعنى أن يكون جهد المحاليل داخل الخلية أكثر سلبية من - ٨ بار. وينتج جهد المحاليل المنخفض من تراكم الذائبات إما بالحصول على أيونات غير عضوية مثل كاتيونات البوتاسيوم لأيونات الكلوريد أو الجزيئات الصغيرة العضوية مثل السكريات، الأحماض العضوية أو الأحماض الأمينية. ولا ينبغي الاعتقاد بأن ذلك يحدث نتيجة لنقص جهد الضغط

حيث أن الدراسات أوضحت حدوث تغييرات لكل المتغيرات بالمعادلة السابقة في كثير من الأحيان ويظل جهد الضغط ثابتاً في بعض الحالات حتى عند نقص معدل النمو.

وعند نقص الجهد المائي للخلية نتيجة لنقص الماء ينقص جهد الضغط أيضاً في حالة حدوث تنظيم في الأسموزية نتيجة لتراكم الذائبات وليس نتيجة لتعديل الأسموزية. وعند تعرض النباتات لفترة طويلة من الجفاف تعمل الخلايا على تجميع الذائبات مما يستلزم حساب المحتوى النسبي للماء الذي يكون مفيداً في تقدير درجة تنظيم الأسموزية للنسيج النباتي من المعادلة التالية:

$$\text{المحتوى النسبي للماء بالنسيج} = \frac{\text{الوزن الجاف للنسيج بعد عصره في الماء} \div \text{الوزن الجاف للنسيج بعد التجفيف في الفرن للتخلص من الماء النقي}}{\text{الوزن بعد عصر النسيج في الماء} \div \text{الوزن الجاف}}$$

كذلك فإن المعادلة التالية تتبع للتعرف على ما إذا كان قد حدث تنظيم لأسموزية النسيج النباتي أم لا

$$\Psi_s \text{ full turgor} = \Psi \text{ symplast} \times (\text{RWC} \div \text{apoplast \%}) / 100 \div \text{apoplast \%}$$

وفيها يتم تقدير قيم جهد المحلول للسيمبلاست للنسيج وهو في كامل الانتفاخ قبل التعرض للجفاف ثم وهو في كامل الانتفاخ بعد التعرض للجفاف وكلما كانت قيمة جهد المحلول بعد التعرض للجفاف مرتفعة السالبة كلما دل ذلك على القدرة العالية للنسيج على تنظيم الأسموزية وبالتالي القدرة على التأقلم لظروف الجفاف. ويساعد تنظيم الأسموزية (تجمع الأملاح) الخلايا على الحفاظ على توازن مائي بالنبات عن طريق المحافظة على ضغط انتفاخ موجب بالخلايا وعندما تجف التربة يصبح جهد الماء أكثر سالبية مما يمكن النبات من استمرار امتصاص الماء طالما جهد النبات المائي أكثر من الجهد المائي للأرض.

ويجبر عن النسبة المئوية للماء بالورقة وهي في كامل انتفاخها والموجودة خارج الغشاء البلازمي (أي بالجدار الخلوي وقصبيات بأوعية الخشب) بالأبوبلاست Apoplast ويمكن الحصول على قيمتها إما عن طريق المراجع أو بقياسها بحجرات قياس الضغط للحصول على منحنى ضغط-حجم الورقة.

وتصبح الخطوة الأخيرة هي تطبيق المعادلة التالية لتصحيح التعبيرات الحادثة في حجم الخلية لتعديل جهد المحلول إلى حالة كامل الإنفخاخ

$$RWC = 100 \times \frac{FW - DW}{TW - DW}$$

حيث أن:

RWC: محتوى الماء النسبى

إن تنظيم الأسموزية بالفجوة العصارية التي هي المكون الأكبر للسيمبلست يتطلب تجمع الأيونات غير العضوية مثل كاتيونات البوتاسيوم، تمثيل الأحماض العضوية، تحويل السكريات العديدة إلى سكريات بسيطة. وتغيير الأسموزية للبروتوبلازم تتطلب تراكم الذائبات التوافقية المحافظة على إستمرارية بناء ووظيفة الجزيئات الكبيرة وأغشية الخلية وهذه تتضمن البرولين، جليسينينوتان، مالتيتول وسوربيتول. هذه الجزيئات تتميز بقدرة عالية على الذوبان ولا تحمل شحنات عند رقم الحموضة الفسيولوجى وغير سامة عند تواجدها بتركيزات مرتفعة. بالإضافة إلى أنها تؤدي إلى ثبات البروتين والأغشية. ويحدث تعديل الأسموزية في جميع الخلايا النامية وغير النامية كما هو الحال في الثغور كآلية للحفاظ على ضغط الانتفاخ كقوة ضرورية لدفع جدر الخلايا للخارج.

### سلوك المحاصيل:

يمكن اعتبار أن مقاومة الجفاف تعتمد بقدر على تجنب فقد الماء Dehydration avoidance، الاستجابة للتغذية الأمامية أو إن شئت قل الاستجابة الإستباقية Feed-forward response، تحمل فقد الماء Dehydration tolerance وكفاءة استعمال الماء Water use efficiency، ويمكن أن تشمل المحاصيل تلك الآليات الأربع لمقاومة الجفاف.

#### ١- تجنب فقد الماء:

تشير المعادلة التي سبق التنويه عنها تحت عنوان تنظيم الأسموزية والمتعلقة بدرجة الحفاظ على محتوى الماء النسبى بالنبات عند التعرض للجفاف مقارنة

للمحاصيل الأخرى لإمكانية استخدامها في الحكم على تجنب المحاصيل لفقد الماء. حيث يتجنب المحصول الجفاف بالحفاظ على جهد رطوبي مرتفع للورقة (٧) بحيث تقرب قيمته من الصفر عندما يتعرض للجفاف نتيجة لتميزه ببعض الصفات مثل قدرة جذوره على التعمق بالأرض لاستخلاص الماء من الأعماق البعيدة، بطء نمو الأوراق وغلظ الثغور عند التعرض للجفاف مبكراً مقارنة بغيره من الأصناف. وتختلف نوعية هذه المحاصيل في سلوكها بتعرضها للجفاف حيث يحدث تغيير طفيف في الجهد المائي للورقة (لا يصل إلى أقل من ٢٨ ميجاباسكال) كما في اللوبيا إلى حدوث تغيير كبير يصل إلى أقل من ٥٨ ميجاباسكال كما في الدخن (Petric and Hail, 1992) والذرة الرفيعة ومجموعة ثالثة يتبعها القليل من الأنواع وفيها ينخفض الجهد المائي للورقة بشدة ليصل إلى ٩٨ ميجاباسكال، ويمكن لهذه المجموعة الاحتفاظ بمحتوى نسبي من الماء عند ضغط أسموزي مرتفع ونقص جهد العصير الخلوي. ويسعى مربو المحاصيل لإنتاج أصناف من القمح والذرة الرفيعة مرتفعة في مقاومتها للجفاف بالانتخاب لزيادة التحكم في أسموزية الأوراق.

## ٢- الاستجابة للتغذية الأمامية (الاستجابة الإستباقية):

لقد تزايدت الشواهد التي تبين إحساس الجذور بالظروف الصعبة التي تواجه النبات بالتربة مما يعمل على إمداد النبات مقدماً بالتحذيرات لحدوث التغيير الذي يقي النبات من هذه الظروف، حيث ترسل الجذور إشارات للأفرع تؤدي إلى الغلق الجزئي للثغور وإبطاء نمو وتمدد الأوراق (Passioura and Straker, 1993) وتعرف هذه النظرية بالنظرية الأمامية أو الإستباقية وهي عكس نظرية التغذية الخلفية. وبذلك يتمكن النبات من تجنب الجفاف الشديد. وتكون استجابة المحصول قوية للغاية وملائمة بدرجة كبيرة لبقاء المحصول والحفاظ على إنتاجيته في أكثر البيئات المستهدفة.

## ٣- تحمل فقد الماء:

يشير هذا المصطلح لقدرة النبات على الحفاظ على وظائفه عند تعرضه للنقص النسبي في محتواه من الرطوبة. وتتميز بعض النباتات بقدرة أوراقها على تحمل

فقد الماء ويذكر بعض الباحثين أن هناك صعوبة في تفسير ذلك، ونظراً لأن بداية أو إيقاف العمليات المختلفة الدائرة بالنبات تتطلب وجود محتوى نسبي خرج للرطوبة إلا أنه وجد أن الكتلة الحية للخلية (Symplast) للنباتات الرقيقة لا تستجيب أو تضار بفقد الماء مباشرة بل يؤثر المحتوى النسبي للماء على الحجم وبالتالي التغيرات الحادثة في الحجم مما ينشأ عنها تغييرات في ضغط الانتفاخ الخلوي وليس مستوى فقد الماء. حيث وجد (Flower and Ludlow, 1986) أن محتوى الورقة النسبي من الماء ببسلة الطيور يبلغ في العادة حوالي 80% عندما يساوى ضغط الانتفاخ الخلوي صفراً ينقص ليصل إلى 32% عند حدوث تدهور داخلي غير رجعي في الجذر الخلوية يصحبه انخفاض في ضغط الانتفاخ ليصبح قيمة سالبة. ولقد ذكر آخرون عند حدوث نقص يومي للماء بالأرض تصدر إشارات هرمونية من الجذر تؤدي إلى عدم تحرك الذائبات من الأوراق المسنة إلى الأوراق الصغيرة العمر مما يقلل من تركيز الذائبات بالأوراق الصغيرة فيقل ضغطها الأسموزي أي زيادة جهد المذيب مما يعمل على فقد الماء ويصبح ضغط الانتفاخ سالباً وتدهور الخلايا. ويعرف ذلك بعدم قدرة النبات على تدوير المغذيات (Hall, 1993) وفي البذور التي تجف عند النضج فإن التحمل لفقد الماء يعتبر هاماً للغاية حيث تتجمع مركبات مثل السكريات وبعض البروتينات التي تلعب دوراً في تحمل فقد الماء.

#### ٤- كفاءة استعمال الماء:

يعبر عن كفاءة استعمال الماء بأنها النسبة بين المادة الجافة الكلية إلى عملية النتج. وتختلف الأنواع في كفاءة استعمال الماء حيث تقل في المحاصيل ثلاثية الكربون عن المحاصيل رباعية الكربون النامية في البيئات الحارة في المواسم الدافئة (حيث أن السبب هو إنتاج مادة جافة بواسطة النباتات ثلاثية الكربون بقدر أقل من المادة الجافة الناتجة في اليوم عن النباتات الرباعية الكربون) مما هدى مربي المحصول لمحاولة تربية أصناف تابعة للمحاصيل الثلاثية الكربون مختلفة في كفاءة استعمال الماء تكون أكثر مقاومة للجفاف (Hall et al, 1994; Condon and Hall, 1997).



## التحمل للجفاف ومقاومة الجفاف

ينبغي التمييز بين تحمل المحصول للجفاف Drought adaptation ومقاومة الجفاف Drought resistance حيث يعتمد التحمل للجفاف على التأثيرات الإضافية للهروب من الجفاف بالإضافة إلى مقاومة الجفاف. على حين أن مقاومة الجفاف لا تعتمد على التأثيرات الإضافية وقد تسلك النباتات ذات الآليات المختلفة مسلكاً متساوياً في التحمل لظروف البيئات الجافة ونصف الجافة. ومثال ذلك اكتساب أوراق النجيليات جهد مائي منخفض شديد السالبية بالتحكم في الأسبوزية لتجنب فقد الماء بالتعرض لجفاف الأرض مما يؤدي إلى فتح الثغور جزئياً واستمرار عملية التمثيل الضوئي والحفاظ على جهد مائي منخفض للورقة وبذلك يتسنى للجذور الحصول على الماء من الأرض. وفي بعض المحاصيل البقولية النامية تحت نفس الظروف فإنها تتجنب فقد الماء بالإغلاق الجزئي للثغور وبحركة الأوراق العاكسة للضوء مما يقلل النسخ مما يؤدي لنقص طفيف لجهد الورقة المائي بجفاف الأرض. وينبغي التنويه هنا إلى أن الجهد المائي عادة ما يكون أقل من الصفر في النظم الطبيعية ويكون أقل أي ذو قيمة أكثر سالبية في النبات عن الأرض ويكون أقل تحت ظروف الجفاف كما يقل في النهار عن الليل.

## علاقة إجهاد الجفاف بمضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية

إن استجابة المحاصيل لإجهاد الجفاف يختلف معنويًا تبعاً لعدة مستويات تعتمد على كثافة وفترة الإجهاد ونوع ومرحلة نمو المحصول (Chaves et al, 2003) لذلك فقد درس العديد من الباحثين أثر إجهاد الجفاف على العديد من المحاصيل.

ولقد وجد أنه هناك علاقة بين إجهاد الجفاف ومضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية لذلك كان من الضروري التحدث عن لمحة بسيطة عن كيفية نشأة مضادات الأكسدة والإجهاد التأكسدي.

ينشأ الإجهاد التأكسدي نتيجة الظروف التي تشجع تكوين أنواع نشطة من الأكسجين الأحادي، بدءاً من أنيون السوبر أوكسيد وثق الهيدروكسيد الحر خلال تفاعلات أكسدة واختزال معينة، تتولد تفاعلات أنواع الأكسجين (ROS) Reactive oxygen species في

خلال النبت أثناء عمليات البناء الطبيعي ويعتبر إنتاج نظام الإلكترون عمليّة التمثيل الضوئي المصدر الأكبر للأكسجين النشط وتكون له القدرة على توليد الأكسجين المفرد والسوبر أوكسيد ولا يمكن الحد من إنتاجه حيث لا يمكن تجنب تسلسل عملية انتقال الإلكترون في عملية التمثيل الضوئي إلى الجو المحيط. إن أكبر عمليات استهلاك الأكسجين تنحصر في بادئ تفاعل مسار التنفس الضوئي والتفاعل المباشر لجزئ الأكسجين في النظام الضوئي الأول (PSI) والنظام الضوئي الثاني (PSII) القادر على تحويل جزئ الأكسجين إلى أكسجين مفرد ذو طاقة مرتفعة. وهناك بعض الأنظمة التي تنافس الإلكترون المنقل في عملية التمثيل بالكثوروبلاست مما يعمل على تقليل جزئ الأكسجين. ويحدد مقدار الضرر الواقع على النبات بعملية تنظيم الاتزان بين الأكسدة ومضادات الأكسدة تحت الظروف الطبيعية (عدم الإجهاد). حيث أن مضادات الأكسدة تمد النبات بحماية كافية ضد الأكسجين النشط و الشقائق الحرة. وأثناء عملية التمثيل الضوئي ينتج جزئ أكسجين من أكسدة الماء الذي يستعمل فيما بعد كمستقبل للإلكترون، هذا الجزئ (الأكسجين المستخدم في عملية التنفس الضوئي) بدوره ينتج فوسفور جليكولات. هذين التفاعلين لهما آثار سلبية وآثار إيجابية حيث ينتقل الإلكترون إلى الأكسجين لينتج سوبر أوكسيد والذي يكون غير متوافق مع عملية البناء لذلك فعلى مضادات الأكسدة التخلص منه، على حين أن مركب الفوسفوجلوكولات يعاد تدويره إلى فوسفوجلوسيرات للدخول مرة أخرى في دائرة تفاعل كلفن ليؤدي إلى فقد الكربون الممثل -في نفس الوقت- فإن كميات كبيرة من فوق أوكسيد الهيدروجين (هدأ.) تنتج أثناء أكسدة الجليكولات في البيروكسيسوم ورغم أن تلف الكثير منه بواسطة إنزيم الكاتاليز إلا أن عملية decarboxylation للأحماض الكيتونية تستمر بواسطته. ومع وجود العديد من فوائد عملية التمثيل الضوئي إلا أن التنفس الضوئي يحمي عشاء التمثيل الضوئي ضد أضرار الضوء الساقط عندما يكون تمثيل الكربون محدود. وربما تعتبر هذه النقطة الوظيفة الرئيسية الهامة في الحماية ضد نقص الإضاءة مقارنة بانتقال الإلكترون إلى الأكسجين.

تعتبر استجابة المحاصيل للجفاف ظاهرة معقدة يبدو أنها تتضمن العديد من المجموعات الجديدة الممثلة مثل البروتينات والأمنيات المتعددة غير معروفة الوظيفة. ويعتبر حمض الأبسيسك ذو دور أساسي في استجابة المحاصيل للجفاف حيث بحث

غلق الخلايا الحارسة التي تعمل على تقليل فقد الماء وأيضا تقليل ثاني أكسيد الكربون القابل للاستفادة في عملية التمثيل الضوئي الذي يؤدي إلى تكوين تفاعل أنواع أكسجين فائق النوجه الإلكتروني في عملية التمثيل الضوئي، هذه الميكانيكية تعمل على نقص إجهاد الأكسدة والذي بدوره يؤدي إلى تحمل الجفاف.

يؤثر محتوى الماء الأرضي تأثيرا كبيرا على المحتوى الكيماوي للخلايا حيث وجد (Sairam and Saxena, 2000) نقص في محتوى الكلوروفيل عند تعرض محصول القمح للإجهاد الجفافى لكل الأصناف المختبرة، ولقد وجد أن نقص الماء بالأرض يؤدي إلى زيادة النسبة المئوية لتسرب إليكتروليونات أوراق النبات ويتوقف ذلك على أنواع وأصناف المحاصيل ففي حالة الأصناف المتحملة للجفاف يقل تسرب الإليكتروليونات مقارنة بالأصناف الأقل تحملا أو الحساسة للجفاف كما هو الحال في صنف القمح سخا ٩٣ (المتحمل للجفاف) مقارنة بصنف حيزة ١٦٨ (عبدالقادر وآخرون ٢٠١٠) Abd El-kader et al 2010 كذلك وجد أن الصنف حيزة ١٦٨ تتميز أوراقه بقلة تسرب الإليكتروليونات بالنسبة لصنف سخا ٩٣ تحت ظروف توافر الرطوبة الأرضية وهذه النتائج تتوافق مع ما حصل عليه (Sibet and Birol (2007). ويعتبر التسرب الإليكتروليتي مؤشر مهم على الوظائف الفسيولوجية للخلايا حين التعرض للجفاف والملوحة وكل من الحرارة المنخفضة أو المرتفعة والتي تؤثر بالضرر على محتويات الخلايا. وعموما يحمي الغشاء البلازمي نفسه من أضرار الجفاف بتوفير سحائل مثل السكريات والأحماض الأمينية التي تعمل على تنظيم الأسموزية مما يعمل على حماية الغشاء البلازمي (Liley and Ludlow (1996 ويمكن القول أن استمرارية الغشاء الخلوي في الحفاظ على تكامله ووظائفه تحت مستويات إجهاد الجفاف تستخدم كمقياس لتحمل المحصول للجفاف، حيث ذكر (Sairam and Saxena (2000 أن جهد الأكسدة الذي يضر ببناء الخلية تحت الإجهاد المائي يؤدي إلى زيادة محتواها من ليبيدات البيروكسيدز التي تتراكم بكميات كبيرة في أنواع المحاصيل النشطة للأكسجين (AOS) activated oxygen species مما ينتج عنها تلف كبير لغشاء الخلية. كما ويلعب التعرض للجفاف دورا في زيادة محتوى مألون داي الدهيد (MDA) الذي يعتبر مقياس للبيدات البيروكسيدز. وعلى ذلك فإن انخفاض (MDA) تعنى قدرة مرتفعة لمقاومة كبيرة للجفاف وهذا يكون مرتبط بقدرة مرتفعة لوجود مضادات

الأكسدة (Zhao et al, 2005; Saneoka et al, 2004). وتزيد فينولات الأوراق النامية تحت ظروف إجهاد الجفاف (Lason and Hester, 1993). تعتبر الشقائق الحرة Free Radicals وغيرها من المشتقات النشطة من الأكسجين ناتجة حتمية ثانوية لتفاعلات الأكسدة والإختزال (Redox) البيولوجية، حيث تثبط تفاعلات أنواع الأكسجين (ROS) الإنزيمات كما تتلف أهم مكونات الخلية وتعتبر زيادة إنتاج مشتقات الأكسجين السامة مظهرا شائعا لظروف الإجهاد وتتميز المحاصيل وغيرها من الكائنات بوجود ميكانيكية ذات مدى واسع لمواجهة هذه المشكلة حيث تتضمن المحاصيل نظام دفاعي يتميز بوجود جزيئات مختلفة من مضادات الأكسدة والإنزيمات مثل إنزيمات سووير أوكسيد ديسميونيز (SOD)، أسكوربات بيروكسيديز (APX)، بيروكسيديز (POD)، كاتاليز (CAT) ومن الأفعال التي تؤثر بالسلب على أغشية الخلايا وجود الشقائق الحرة التي تحت تكوين بيروكسيد الليبيدات والأحماض الدهنية غير الأسيرية وكذلك تمثيل الإثيلين حيث يبدو أن تدهور غشاء الخلية له علاقة بانطلاق الشقائق الحرة رغم أن عدم فهم كيفية إنتاجه حتى هذه اللحظة. ومن الواضح أن كفاءة ونشاط نظام مضادات الأكسدة مهم في الحد من التلف الناشئ عن الأكسدة وإتلاف الأكسجين النشط الذي ينتج بكميات أكبر من حاجة عمليات البناء الطبيعي. يعتبر دليل Indicator إنزيم البيروكسيديز خط الدفاع الأول ضد تفاعل أنواع الأكسجين كما يتغير نشاطه وكميته كنيل لحالة تفاعل الأكسدة والإختزال تحت الظروف المختلفة لإجهادات الجفاف (Moran et al, 1994; Schwanz and Polle, 2001). ويختلف نشاط هذا الإنزيم تحت ظروف إجهاد الجفاف تبعاً لمقاومة أصناف القمح للجفاف ودرجة الإجهاد (Ge et al, 2006). ويعتبر بيروكسيديز أسكوربات مسئولاً عن عدم سمية أكسيد الأيدروجين في الأوراق الخضراء (Chaudier and Ferrari-Iliou, 1999). يزيد تركيز فينولات أوراق النبات النامي تحت ظروف الإجهاد (Lason and Hester 1993). ويلعب محتوى البرولين دوراً في أنسجة النباتات التي تتعرض للجفاف وعلى الأخص الأوراق نتيجة لتكسير البروتين باستمرار نقص تمثيل البروتين ويعتبر تجمع البرولين مفيد في الأنسجة كمؤشر على أضرار الجفاف وليس بدوره في ميكانيكية مقاومة الإجهاد (Zlatev and Stoyanov, 2005).



## قائمة المراجع

- Abd El-Gawad A.A., Noureldin Nemat A., Ashoub M.A. and Kashaba M. A. 1993 (a). *Annals Agric. Sci., Ain Shams Univ.* 38 (1), 161- 172
- Abd El-Gawad A.A., Noureldin Nemat A., Ashoub M.A. and Kashaba M. A. 1993 (b). *Annals Agric. Sci., Ain Shams Univ.* , 38 (1) .183-192.
- Abdel kader , M.A., Noureldin Nemat A., M.F. Hamed and Luka Bechini 2010. *Arab Univ. J. of Agric. Sci., Cairo, Egypt.* (18) : 2 p. 273-282
- Ahmad, A.1999. In C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Croppyield Response to Deficit Irrigation*, Dordrecht, The Netherland, Kluwer Academic Publishers.
- Ali,Q., Ashraf, M., Shahbaz, M. and Humera, II. 2008. *Pakistan J. Bot.*, 40-1,211-219.
- Anac, M. S., Ali UJ, M., Tuzel, I. H., Anac, D., Okur, B. and Hakerlerler, II. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Croppyield Response to Deficit Irrigation*, Dordrecht, The Netherland, Kluwer Academic Publishers.
- Basug, R. 1987. A study on Determining the Water Production Function of Cotton under Cukurova Conditions (Ph. D. Thesis Turkish) Adana, Turkey, Cukurova University, Faculty of Agriculture.
- Barza, M. and Tayaz, M. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Croppyield Response to Deficit Irrigation*, Dordrecht, The Netherland , Kluwer Academic Publishers.
- Bol anox, J. and Edmeades, G. O. 1996. *Field Crops Res.* 48:65-80
- Boyle, M.G., Bover, J.S. and Morgan, P.W. 1991. *Crop Sci.*, 31:1246-1252.
- Calvache, M. and Reichardt, K. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Croppyield Response to Deficit Irrigation*, Dordrecht, The Netherland, Kluwer Academic Publishers.
- Chaudiere, J. and Fernari-lliou, R. 1999. *Food Chem. Toxicol.* 37:949-962.
- Chaves, M. M., Maroco, J.P. and Pirra, J. 2003. *Func. Plant Biol.* , 30:239-264.
- Condon, A.H. and Hall, A.E. 1997. Adaptation to Diverse Environments. Variation in Water Use Efficiency Within Crop Species. pp. 79- 116. In L. E. Jackson (ed) *Ecology in Agriculture*, Academic Press, San Diego, California.
- Craciun, L. and Craciun, M. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Croppyield Response to Deficit Irrigation*, Dordrecht, The Netherland, Kluwer Academic Publishers.
- CROPWAT Programmc (Version 4.2), FAO-Perunan-Montcith method, 1998.



- Eck, H.V., Mathers, A.C. and Musick, J.T. 1987. Field Crops Res., 17: 1-16.
- English, M.J., Musick, J.T. and Murty, V.V. 1990. Deficit Irrigation. In G. J. Hoffman, T. A. Towell and K. H. Solomon, eds. Management of Farm Irrigation Systems. St. Joseph, Michigan, U.S.A.
- FAO. 1979. Yield Response to Water by J. Doorenbos and A. H. Kassam. Irrigation and Drainage Paper No. 33. FAO, Rome.
- Flower, D. J. and Ludlow M. M. 1986. Plant Cell Environ., 9: 33-40.
- Ge, C. D., Su, G., Bai, L. P., Lu, Y. Y. and Zhou, G. S. 2006. Sci. Agric., 3: 291-298.
- Gwathmey, C.O. and Hall A.E. 1992. Crop Sci., 32: 773-778.
- Habib, F. S., El n Habbal, M.S., Neureldin Nemat A. And Meehamer, K. J. 2010. Res. Bull. No. 43, Fac. Agric. Ain Shams Univ, Cairo, Egypt.
- Hall, A. J. F. Vilella, N., Frupari, N. and Clemente, C. 1982. Field Crops Res., 5: 349-363.
- Hall, A. E. 1993. Current Topics in Plant Physiology, Vol. 10, American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland, USA.
- Hall A. F., Richards R.A., Condon A.G., Wright G.C. and Farquhar G. D. 1994. Breeding Rev., 12: 81-113.
- Herrero, M. P. and Johnson R. R. 198. Crop Sci., 21: 105-110.
- Iqbal, M. M. Saha, S. M., Mohamud W. and Nawaz, H. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropfield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht. The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Jana, P.K., Misra, B. and Kar, P.K. 1982. Indian Agriculturist, 26: 39-42.
- Kang, S., Shi, W. and Zhang, J. 2000. Field Crops Res., 67: 207-214.
- Karanta, H. 1991. Koy Hizmetleri Araştırma East, Kırklareli, Turkey. (Turkish). Report No.24 (Ph.D Thesis).
- Kirda, C., Kimber, R. and Yulcu, K. 1999a. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropfield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Kirda, C., 1999 b. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropfield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Kirda, C. and Kimber, R. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropfield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Korte, L. L., Williams, J. H. and Sorensen, R.C. 1983. Crop Sci., 23: 521-527.

- Kovacs, T. Kovacs, G. and Szito, J. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation. Dordrecht. The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Lason, G.R. and Hester, A.J. 1993. *J. Ecol.* 81: 75-80.
- Liley, J.M. and Ludlow, M.M. 1996. *Field Crop Res.* 48: 185-197.
- Madanoglu, K. 1977. Publications No 52. Ankara. Ankara Central Topraksu Research Institute p 67.
- Morán, J. F., Becana, M., Iribarne, J., Frechilla, S., Klucas, R. V. and Aparicio-Tejo, P. 1994. *Planta* 194: 346-352.
- Musick, J. J. and Dusek, D. A. 1980. *Agron. J.* 72: 45-52.
- Oylukan, S. 1973. Fiskischi Bölge Topraksu Araştırma Enstitüsü, Turkey.
- Passioura, J. B. and Sörzaker, R. J. 1993. In: D. R. Huston, et al. (eds.) International Crop Science I. Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin pp 715-719.
- Pepe, C.H.G. and Edr, G. K. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation. Dordrecht. The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Perrie, C. L. and Hall, A. E. 1992. *Austral. J. Plant Physiol.* 19: 577-589.
- Prieto, D. and Angueir, C. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation. Dordrecht. The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Rawson, H. M. and Turner, N.C. 1983. *Irrigation Science*, 1: 167-175.
- Santhan, R. K. and Saxena, D. C. 2000. *J. Agron. Crop Sci.* 184 (1): 56-61.
- Saneoka, H., Moghaieb, R. E. A., Premachandra, G. S. and Puri, K. 2004. *Environ. Exp. Bot.* 52: 131-138.
- Schwartz, P. and Polle, A. 2001. *J. Exper. Bot.* 52: 133-143.
- Sibet, I. and Bizot, T. 2007. *World J. Agric. Sci.* 3 (2): 178-184.
- Speck, J. E., Elmore, R.W., Eisenhauer, D. E. and Klöcke, N. W. 1989. *Irrigation Science* 10: 99-111. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation. Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Stegman, E. C. 1982. *Irrigation Science*, 3: 75-87.
- Stegman, E. C., Schatz, B.G. and Gardner, J. C. 1990. *Irrigation Science*, 11: 111-119.
- Stewart, J. I., Cuenca, R. H., Pruitt, W. O., Heggen, R. M. and Tosso, J. 1977. W-67. California Contributing Project Report Davis, USA of California.
- Thomas, J. C., Brown, K. W. and Jordan, J. R. 1976. *Agron. J.* 68: 706-708.

- Waheed R. A. Naqvi, H. H., Tahir, G. R. and Naqvi, S. H. M. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Crop yield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Westgate, M.E. and Boter J.S. 1986 Crop Sci., 26:951-956.
- Winter, S. R. 1980. Agron. J. 1972:649-653.
- Zhao, L., Dong, X. P. and Shan, L. 2005. Acta Bot. Boreal - Occident Sin., 25: 413-418.
- Zlatev, Z. and Stoyanov, Z. 2005. J. Central Eur. Agric., 6 (1):5 ff 14.